

# メロン・キャベツにおける牛ふん堆肥中のク溶性リン酸およびカリの 化学肥料代替効果

## Chemical Fertilizer Substitution Effect of Phosphate and Potassium Oxide of Barnyard Manure Soluble in 2% Citric Acid on Cultivation of Melon and Cabbage

三牧奈美・白石由美子\*

Nami MIMAKI, Yumiko SHIRAIISHI

### 要 約

家畜排せつ物由来の堆肥に含まれる肥料成分の有効利用については、コマツナ栽培で堆肥中の2%クエン酸可溶性(以下、ク溶性)リン酸、カリ量は、化学肥料のリン酸、カリ量とほぼ等価で、堆肥が化学肥料の代替として利用できることが知られている<sup>1)</sup>。本論文では、これまでに検討例のないメロン、キャベツについて、牛ふん堆肥に含まれるク溶性リン酸、カリ量で化学肥料を置き換え、化学肥料施肥栽培と養分吸収量を比較した。その結果、牛ふん堆肥のク溶性リン酸およびカリが化学肥料のリン酸、カリと同等の肥効であると考えられた。さらに不足する他の成分については、化学肥料を施肥することで化学肥料施肥栽培とほぼ同等の収量・品質が得られた。

以上から、コマツナ栽培と同様にメロン・キャベツ栽培においても、牛ふん堆肥のク溶性リン酸およびカリ成分量を把握することで効果的に化学肥料と代替できることが明らかになった。

キーワード：牛ふん堆肥 ク溶性リン酸 ク溶性カリ

### 緒言

化学肥料需要は、近年世界的な人口増加や食生活の変化による穀物等の需要増大などを背景に肥料の需要は年々増大しているが、原料資源の産出国は偏在し、産出量も限られている。日本は化学肥料原料の大半を輸入に依存しており、化学肥料価格が国際情勢の影響を受けやすい。2008年には、バイオ燃料向け穀物の増産等の新たな要因が加わったことで化学肥料価格が高騰し農家経営に大きな影響を及ぼした。その後、価格は一旦落ち着いたものの肥料需要がさらに増加したことで再び2010年頃から上昇基調で推移している。そのため、施肥量の削減による低コスト化や、家畜排せつ物由来の堆肥に含まれる肥料成分の有効活用が求められている。

肥料は、「肥料取締法」の中で普通肥料と特殊肥料に分類されている。化学肥料は普通肥料に該当し、有効成分(窒素、リン酸、カリなど)、溶解性(全量、水溶性、可溶性、ク溶性)、製法(化成、配合、熔成など)、外觀(被覆、固形、液状など)による分類があり、有効成分に対して最低保証成分量が定められている。

また溶解性の違いによって1)水溶性成分：水に溶けすぐに植物に吸収される、2)可溶性成分：水に溶けないが根から出る根酸で溶け、比較的速く植物に吸収され

る、3)ク溶性成分：2%クエン酸で溶け、根から出る根酸程度の弱い酸ではすぐ溶けないが、徐々に溶けだすためゆっくり効く、のような性質があり、速効性肥料や緩効性肥料に分かれる。

一方堆肥は、肥料取締法に基づく特殊肥料である。特殊肥料は農家が経験や五感で種類、品質の認識が可能なものであり、品質が一定でなく規格化になじまないものが多い。従って窒素、リン酸およびカリの全量(重量%)等が表示されているが成分の保証はなされていない。

家畜排せつ物由来の堆肥(以下、家畜ふん堆肥)には、大きく分けて牛ふん堆肥、豚ふん堆肥、鶏ふん堆肥があり、さらに副資材としてそれらにもみ殻、オガクズなどを添加したものがある。これらの堆肥中の窒素成分は牛ふん堆肥が最も少なく、豚ふん堆肥、鶏ふん堆肥の順に増加する。炭素/窒素(C/N)比は、この順に減少し、より窒素肥料的性格が高くなる。生堆肥あたりの成分量で見ると、窒素以外にもリン酸やカリが数十kg単位で含まれているが、堆肥を土づくり資材または、窒素肥料の代替として検討した報告<sup>2)</sup>は多くあるものの、リン酸やカリ肥料の代替として検討された報告は少ない。さらに、同一種類の堆肥であっても含有する成分量は同一ではなく、また作物に吸収される成分量はそれらの一部で

\* 長崎県島原市在住

ある。また近年の堆肥中成分量は、副資材のコスト高による添加の減少により増加する傾向が見られるなど、肥料成分含量の把握が難しい。そこで、家畜ふん堆肥中の肥料成分を有効利用するためには、窒素、リン酸、カリそれぞれの成分の「肥効率」を明らかにする必要がある。

堆肥中肥料成分の「肥効率」は、それぞれの肥料成分ごとに化学肥料と同等の肥効をもつ量が全量にたいしてどの程度あるかを示したものである。一般的に牛ふん堆肥成分のおおよその肥効率は、窒素 30%、リン酸 60%、カリ 90%<sup>3)</sup>とされている。また、これまで堆肥の肥効率については様々な報告があり、窒素については、これまでの研究成果からより正確な肥効率の推定<sup>4)5)</sup>が可能となっているが、リン酸やカリについては定まった推定技術は確立されていなかった。

財団法人畜産環境整備機構畜産環境技術研究所は、コマツナを用いた試験を実施し、2%クエン酸、0.001M 硫酸、1M 塩酸、0.5M 重炭酸ナトリウム、純水を用いてリン酸、カリを抽出し、抽出された成分量が全量に占める割合である抽出率とコマツナによるリン酸、カリの肥効率との単相関係数を比較した結果、両成分とも2%クエン酸で抽出したク溶率との相関係数が最も高いこと、家畜ふんの種類に関係なく堆肥中のリン酸、カリの肥効率を目的変数、ク溶率(2%クエン酸で抽出される成分量が全量に占める割合)を説明変数とする単回帰式で表されることを明らかにした<sup>1)</sup>。このことは、ク溶性リン酸、カリ量を測定することにより、堆肥中の化学肥料相当量を把握できることを意味している。ただし、この報告はコマツナ栽培における結果であり、他作物でも依存できるかどうか保障していない。

そこで、本県の主要な農産物であり、養分吸収パターンがコマツナとは異なるアールスメロンおよびキャベツを供試し、本県で最も生産量が多い牛ふん堆肥<sup>6)</sup>で、供給されるク溶性リン酸およびカリの化学肥料代替効果を検証した。

## 材料および方法

### 1 試験ほ場および土壌の種類

2011~2012年のアールスメロンの試験には、熊本県農業研究センター内でアールスメロンを前作した施設畑(ビニールハウス)を用いた。土壌は厚層多腐植質黒ボク土で、作土の土性は壤土である。試験開始前の土壌中の無機態窒素含量、有効態リン酸含量、交換性カリウム含量は、4 mg/100 g 乾土、8~11 mg/100 g 乾土、40~60 mg/100 g 乾土で、県の土壌診断基準値(有効態リン酸 10~50 mg、交換性カリウム 30~100 mg)の範囲内であった。

2014~2015年のキャベツの試験には、前作なしの露地畑を用いた。土壌は厚層多腐植質黒ボク土で、作土の土性は壤土である。試験開始前の露地畑における土壌中の無機態窒素含量、有効態リン酸含量、交換性カリウム含量は0.5~0.7 mg/100 g 乾土、5~7 mg/100 g 乾土、44~48 mg 乾土で土壌診断基準値(有効態リン酸 5~50 mg、交換性カリウム 30~100 mg)の範囲内であった。

### 2 供試作物、品種および耕種概要

アールスメロン(品種:セイヌ夏、八江農芸株)、キャベツ(品種:おきな、タキイ種苗株)を供試した。アールスメロンは2011年~12年、キャベツは2014年~15年のそれぞれ2年間、施肥・栽植密度を除き本県の栽培基準<sup>7)</sup>に従い栽培した。

#### 1) アールスメロン

2011年は、播種を3月4日、定植を4月19日、交配を5月18~24日に行い、7月15日に収穫した。2012年は、播種を3月2日、定植を4月9日、交配を5月8~15日に行い、7月6日に収穫した。

なお、両年とも試験区の面積は7.7 m<sup>2</sup>/区(16株/区)の2反復とし、栽植密度を畝間110 cm、株間40 cm、1条植の227株/aとした。果実は、摘果を行い交配後1株当たり1果とし、収穫後の茎葉等地上部の作物残渣は、すべて施設外へ持ち出した。

#### 2) キャベツ

2014年は、播種を8月11日、定植を9月2日に行い、11月27日に収穫した。2015年は、播種を8月10日、定植を9月4日に行い、11月25日に収穫した。

なお、両年とも試験区の面積は11 m<sup>2</sup>/区(40株/区)の2反復とし、栽植密度を畝間130 cm、株間40 cm、2条千鳥植の334株/aで実施した。収穫後の外葉部等地上部の作物残渣は、ほ場に鋤き込んだ。

### 3 試験区の設定

#### 1) アールスメロン

試験区は第1表のとおり3試験区を設置した。栽培前土壌は県の土壌診断基準値の範囲内であり、本県の栽培基準<sup>7)</sup>に記載された施肥量で栽培した。標準施肥区は、窒素、リン酸、カリの施用量が1.5 kg/aとなるようCDU(緩効性化学肥料、原料:尿素+アルデヒド)複合燐加安S555号(CDU50%、N15%・P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>15%・K<sub>2</sub>O15%)を施用した。標準施肥におけるリン酸量1.5 kg/aだけを牛ふん堆肥中のク溶性リン酸で同等量に調整した牛ふん堆肥P区および同様にカリ量1.5 kg/aだけを同等量に調整した牛ふん堆肥K区には、市販の牛ふん堆肥(JA 菊池、2011年

産：全窒素 1.14%，ク溶性リン酸 1.98%，ク溶性カリ 1.07%，2012 年産：全窒素 1.19%，ク溶性リン酸 1.79%，ク溶性カリ 2.32%[畜産環境技術研究所分析])を用いた(第 2 表)。窒素については窒素無機化率をもとに肥効率を 2011 年 15%，2012 年 34%とした。

牛ふん堆肥 P 区は、牛ふん堆肥に含まれるク溶性リン酸量が 1.5kg/a となるように牛ふん堆肥施用量を調整し、2011 年 76 kg/a、2012 年 84 kg/a 施用した。窒素は、施用した牛ふん堆肥に含まれる窒素全量と肥効率から化学肥料相当量を算出した結果、2011 年 0.1 kg、2012 年 0.3 kgであったため、CDU 窒素(N:31%)で不足分 1.4 kg、1.2 kgを補い 1.5 kg/a に調整した。カリについては、2011 年は施用した牛ふん堆肥に含まれるク溶性カリが 0.8 kgとなり基準施肥量 1.5 kg/a より少なく、2012 年は 2.0 kgで基準施肥量 1.5 kg/a より多くなったが、両年とも調整を行わず、そのまま施用した。

牛ふん堆肥 K 区は、牛ふん堆肥に含まれるク溶性カリ量が 1.5kg/a となるように牛ふん堆肥施用量を調整し、2011 年 147 kg/a、2012 年 65 kg/a 施用した。窒素は、牛ふん堆肥 P 区と同様に化学肥料相当量を算出した結果、2011 年、2012 年ともに 0.3 kgで、CDU 窒素で不足分 1.2 kgを補い 1.5 kg/a に調整した。リン酸については、2011 年は施用した牛ふん堆肥に含まれるク溶性リン酸が 2.9kgとなり施肥基準量 1.5 kg/a より多くなったがそのまま施用し、2012 年は施用した牛ふん堆肥に含まれるク溶性リン酸 1.2 kgとなり施肥基準量 1.5 kg/a より少なくなったため、過リン酸石灰(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:17.5%)0.3 kgで補い 1.5kg/a とした。

以上のように化学肥料で調整した牛ふん堆肥の成分量は第 1 表に示し、基肥として施用した。

第 1 表 アールスメロンの試験区設計

試験区	成分量(kg/a)			牛ふん堆肥施用量(kg/a)
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
標準施肥区	1.5	1.5	1.5	
2011年 牛ふん堆肥 P 区	1.5	1.5	0.8	76
牛ふん堆肥 K 区	1.5	2.9	1.5	147
標準施肥区	1.5	1.5	1.5	
2012年 牛ふん堆肥 P 区	1.5	1.5	2.0	84
牛ふん堆肥 K 区	1.5	1.5	1.5	65

第 2 表 アールスメロン栽培に使用した牛ふん堆肥の成分

	全量(現物%)			ク溶性成分量(現物%)	
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
2011年	1.14	2.15	1.96	1.98	1.07
2012年	1.19	1.92	3.01	1.79	2.32

窒素肥効率は、2011年15%、2012年34%

## 2) キャベツ

試験区はアールスメロンと同様に第 3 表のとおり 3 試験区を設置した。栽培前土壌は県の土壌診断基準値の範囲内であり、本県の栽培基準<sup>7)</sup>に記載された施肥量で栽培した。標準施肥区は、窒素 1.2 kg/a、リン酸 2.0 kg/a、カリ 1.0 kg/a を基肥として施用し、定植後 20 日目と結球開始期の 2 回それぞれに窒素 0.6 kg/a とカリ 0.5 kg/a を追肥した。なお、基肥、追肥ともに窒素として硫安(N:21%)、リン酸として過リン酸石灰(P:17.5%)、カリとして硫酸カリ(K:50%)を用いた。標準施肥におけるリン酸量 2.0 kg/a だけを牛ふん堆肥中のク溶性リン酸で同等量に調整した牛ふん堆肥 P 区および同様にカリ量 2.0 kg/a だけを同等量に調整した牛ふん堆肥 K 区には、市販の牛ふん堆肥(JA 菊池、2014 年産：全窒素 1.12%、ク溶性リン酸 1.57%、ク溶性カリ 2.15%、2015 年産：全窒素 0.95%、ク溶性リン酸 1.43%、ク溶性カリ 1.91%[生産環境研究所分析])を用いた(第 4 表)。窒素の肥効率は既存のデータ<sup>4)5)</sup>から窒素全量が乾物あたり 0~2%のとき 10%、同 2~4%のとき 30%として求め、2014 年 30%、2015 年 10%とした。また、牛ふん堆肥は基肥としてのみ使用し、化学肥料と同時期に施用した。窒素については、標準施肥区と同様に定植後 20 日目と結球開始期に 0.6 kg/a を追肥した。しかし、カリは標準施肥区と違い追肥を行わず、追肥分の施用量 1.0 kg/a を基肥に加え、基肥 2.0 kg/a とした。

牛ふん堆肥 P 区は、牛ふん堆肥に含まれるク溶性リン酸量が 2.0kg/a となるように牛ふん堆肥施用量を調整し、2014 年 128 kg/a、2015 年 140 kg/a 施用した。窒素は、施用した牛ふん堆肥に含まれる窒素全量と肥効率から化学肥料相当量を算出した結果、2014 年 0.4 kg、2015 年 0.1 kgであったため、硫安(N:21%)で不足分 0.8 kg、1.1 kgを補い 1.2 kg/a に調整した。カリについては、施用した牛ふん堆肥に含まれるク溶性カリが 2014 年 2.8 kg、2015 年 2.7 kgとなり基準施肥量 2.0 kg/a より多くなったが、両年とも調整を行わず、そのまま施用した。

牛ふん堆肥 K 区は、牛ふん堆肥に含まれるク溶性

カリ量が 2.0kg/a となるように牛ふん堆肥施用量を調整し、2014年 93 kg/a、2015年 105 kg/a 施用した。窒素は、牛ふん堆肥 P 区と同様に化学肥料相当量を算出した結果、2014年 0.3 kg、2015年 0.1 kgであったため、硫酸(N:21%)で不足分 0.9 kg、1.1 kgを補い 1.2 kg/a に調整した。リン酸については、施用した牛ふん堆肥に含まれる可溶性リン酸が 2014年、2015年ともに 1.5 kgとなり施肥基準量 2.0 kg/a より少なくなったため、過リン酸石灰(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:17.5%) 0.5 kgで補い 2.0kg/a とした。

以上のように化学肥料で調整した牛ふん堆肥の成分量は第 3、4 表に示し、牛ふん堆肥は基肥として施用した。

第3表 キャベツの試験区設計

	試験区	成分量(kg/a)			牛ふん堆肥施用量(kg/a)
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
2014年	標準施肥区	1.2	2.0	1.0	128
		1.2		1.0	
	牛ふん堆肥 P 区	1.2	2.0	2.8	
		1.2			
	牛ふん堆肥 K 区	1.2	2.0	2.0	
		1.2			
2015年	標準施肥区	1.2	2.0	1.0	140
		1.2		1.0	
	牛ふん堆肥 P 区	1.2	2.0	2.7	
		1.2			
	牛ふん堆肥 K 区	1.2	2.0	2.0	
		1.2			

上段が基肥、下段が追肥

第4表 キャベツ栽培に使用した牛ふん堆肥の成分

	全量(現物%)			可溶性成分量(現物%)	
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
2014年	1.12	1.72	2.24	1.57	2.15
2015年	0.95	1.57	1.97	1.43	1.91

窒素肥効率は、2014年30%、2015年10%

#### 4 調査方法

##### 1) 堆肥分析

牛ふん堆肥は、風乾・粉碎し 2 mm 目で篩別したものを分析サンプルとした。窒素は、N C アナライザー (vario EL cube エレメンター・ジャパン株) で測定した。全リン酸及びカリウムは、サンプルを硝酸-過塩素酸で湿式分解後、バナドモリブデン酸法および蛍光光度法で測定した<sup>8)</sup>。可溶性リン酸およびカリウムは、サンプルを 2% クエン酸溶液で 3 時間振とう抽出 (30 ) 後、バナドモリブデン酸法及び蛍光光度法で測定した。

##### 2) 土壌分析

栽培前後における土壌中の養分含有量の変化を比較するために、栽培前及び栽培後の作土を試験区ご

とに 5 か所から採取し、一部を生土のまま冷蔵保存し、一部を風乾・粉碎し 2mm 目で篩別して風乾土とし、分析に用いた。無機態窒素は生土から 1NKCl で抽出し、ディスクリットアナライザー AQ2+(ピーエルテック株) で測定した。有効態リン酸は風乾土から Truog 法 (1mM 硫酸で難溶性リン酸カルシウム及びマグネシウム塩の一部が抽出され、発色法により測定) で測定した。また、交換性カリウムは風乾土から 1 M 酢酸アンモニウム (pH7.0) で抽出し、蛍光光度法で測定した<sup>9)</sup>。

##### 1) 生育・収量及び作物体の分析

###### アールスメロン

各試験区から 6 果を選び果実重、外観品質、糖度を測定した。果形は縦径 (果高)、横径 (果径) を測定して縦/横比を求めた。ネットの状態は、密度を 5(密)~1(粗)、盛り上りを 5(高)~1(低)の基準で調査した。糖度 (Brix) は果実の赤道付近の果肉の中心部で測定した。調査した果実のうち、平均的な重さの果実を 2 果選定し、ミキサーで粉碎後、乾物重および各養分の含有率を測定し、養分吸収量を求めた。また、果実を調査した 6 株について茎葉の新鮮重量を測定した。うち平均的な 2 株については、60 で風乾した後、乾物重及び養分含有率を測定し、養分吸収量を求めた。栽培中に除去されたわき芽及び摘果された果実もすべて茎葉と同様に乾物重及び養分含有率を測定し、養分吸収量を求めた。窒素、リン酸含有率は硫酸で湿式分解した後、セミクロ蒸留法及びバナドモリブデン酸法で測定した。また、カリ含有率は乾式灰化後、蛍光光度分析法で測定した<sup>9)</sup>。

###### キャベツ

各試験区の中から 10 株を選び子葉跡で根と切り分けた後、地上部の全重を測定した。さらに外葉を 2 枚残して結球部とし、外葉部と分けた。結球部は重量と、縦径 (球高)、横径 (球径) を測定した。調査したキャベツのうち、結球部の重さが平均的な株を 3 株選び、外葉と結球に分けて 60 で風乾・粉碎した後、それぞれの乾物重、養分含有率を測定し、養分吸収量を求めた。なお、窒素、リン酸、カリの分析はアールスメロンと同じ方法で行った<sup>9)</sup>。また、2014 年は定植から 2 週間間隔で株を抜き取り、各株の新鮮重を計測した。

#### 結果

##### 1 アールスメロン

1) アールスメロンの1果重及び果実品質

試験区ごとの1果重及び果実品質を第5表に示した。標準施肥区と比べて牛ふん堆肥P区は2011年が1,909g(標準施肥区の108%、以下同様)でやや大きく、2012年が1,578g(99%)でほぼ同等であっ

た。牛ふん堆肥K区は2011年が1,826g(103%)、2012年が1,585g(99%)で、標準施肥区とほぼ同等であった。果形は、いずれの区も2011年、12年ともにやや縦長であった。また、2012年の牛ふん堆肥K区のネットがやや密になった以外、ネット形成に

第5表 アールスメロンの収量と品質

	着果 節位	1果重 (g/株)	茎葉重 (g FW/株)	果実品質						収量	
				縦径 (cm)	横径 (cm)	縦横	ネット 密度	ネット 盛り上り	果実 糖度	(t/10a)	(収量比)
標準施肥区	13.3	1,767	1,946	16.1	14.4	1.1	4.4	4.1	16.0	4.0	(100)
2011年 牛ふん堆肥P区	14.1	1,909	2,009	16.8	14.8	1.1	4.2	4.3	15.6	4.3	(108)
牛ふん堆肥K区	13.3	1,826	2,096	17.0	15.3	1.1	3.9	4.1	15.4	4.1	(103)
標準施肥区	13.6	1,594	1,874	15.9	13.9	1.1	2.6	2.7	14.4	3.6	(100)
2012年 牛ふん堆肥P区	13.7	1,578	1,798	16.1	13.8	1.2	2.9	2.7	14.1	3.6	(100)
牛ふん堆肥K区	14.1	1,585	1,851	15.9	13.6	1.2	3.6	2.8	13.9	3.6	(100)

注) ネット密度5(密)~1(粗)、ネット盛り上り5(高)~1(低)の5段階評価

注) 1果重は、アンテナを含み、茎葉部はわき芽、摘果を含む

も差は認められなかった。糖度(Brix)は、標準施肥区の2011年が16.1%、2012年が14.4%であった。これに対して、牛ふん堆肥P区が同15.6%、14.1%、牛ふん堆肥K区が15.4%、13.9%とほぼ同等であった。

2) 窒素、リン酸及びカリの吸収量

地上部の窒素、リン酸、カリの部位別の養分濃度と吸収量を第6表に示した。アンテナを除いた果実を果実部とし、生育途中で取ったわき芽や摘果、アンテナを含めて茎葉部とした。果実部、茎葉部ともに窒素、リン酸およびカリ濃度はいずれも、標準施肥区と、牛ふん堆肥P区、牛ふん堆肥K区に、差は認められなかった。また、養分吸収量についても、同じ年度内で比較した場合、標準施肥区と牛ふん堆肥P区、牛ふん堆肥K区の窒素、リン酸、カリの吸収量に差は認められなかった。

3) 土壌養分含有量の推移

2011年は、3試験区とも栽培の前後で無機態窒素含量がわずかに増加した。有効態リン酸含量はリン酸の施肥量と同じ標準施肥区と牛ふん堆肥P区が横ばい、施肥量が多い牛ふん堆肥K区でやや増加した。交換性カリ含量は、カリの施肥量と同じ標準施肥区で減少、牛ふん堆肥K区で増加し、施肥量が少ない牛ふん堆肥P区でやや増加するなど、カリの施肥量と交換性カリの増減に一定の傾向は認められなかった。

2012年は、3試験区とも栽培の前後で無機態窒素含量がわずかに減少し、有効態リン酸含量がやや増加した。一方、交換性カリ含量は、カリの施肥量が

同じ標準施肥区でやや増加、牛ふん堆肥K区でやや減少し、施肥量が多い牛ふん堆肥P区でやや増加するなど、2011年同様、一定の傾向は認められなかった(第7表)。

第6表 アールスメロンの部位別養分濃度(%)と吸収量(kg/10a)(窒素)

試験区	濃度(乾物%)		吸収量(kg/10a)	
	果実部	茎葉部	果実部	茎葉部
標準施肥区	2.3	2.5	10.7	10.2
2011年 牛ふん堆肥P区	2.3	2.6	11.0	11.0
牛ふん堆肥K区	2.1	2.6	9.6	11.2
標準施肥区	2.6	2.2	9.3	8.5
2012年 牛ふん堆肥P区	2.3	2.2	8.1	8.5
牛ふん堆肥K区	2.4	2.2	8.6	9.2
(リン酸)	濃度(乾物%)		吸収量(kg/10a)	
	果実部	茎葉部	果実部	茎葉部
標準施肥区	0.8	0.7	3.6	2.9
2011年 牛ふん堆肥P区	0.8	0.8	3.8	3.3
牛ふん堆肥K区	0.7	0.8	3.3	3.6
標準施肥区	0.9	0.6	3.2	2.1
2012年 牛ふん堆肥P区	0.9	0.6	3.0	2.3
牛ふん堆肥K区	1.0	0.6	3.3	2.4
(カリ)	濃度(乾物%)		吸収量(kg/10a)	
	果実部	茎葉部	果実部	茎葉部
標準施肥区	3.7	5.5	17.2	22.8
2011年 牛ふん堆肥P区	3.9	5.8	18.7	24.6
牛ふん堆肥K区	3.7	6.0	17.2	26.0
標準施肥区	3.9	4.5	13.8	17.0
2012年 牛ふん堆肥P区	3.8	4.7	13.3	17.9
牛ふん堆肥K区	3.8	4.7	13.3	19.3

果実部は、アンテナを除く

茎葉部は、わき芽、摘果、アンテナを含む

第7表 無機態窒素含量・有効態リン酸含量・交換性カリウム含量の推移  
(無機態窒素の推移)

試験区	2011		2012		2011 増減 b-a	2012 増減 d-c
	栽培前 a	栽培後 b	栽培前 c	栽培後 d		
標準施肥区	4.3	6.5	4.4	4.0	2.2	-0.4
牛ふん堆肥P区	4.4	7.0	4.5	3.7	2.6	-0.8
牛ふん堆肥K区	3.9	6.7	4.5	4.2	2.8	-0.3

(有効態リン酸の推移)

試験区	2011		2012		2011 増減 b-a	2012 増減 d-c
	栽培前 a	栽培後 b	栽培前 c	栽培後 d		
標準施肥区	7.9	8.7	8.0	10.5	0.8	2.5
牛ふん堆肥P区	11.6	12.3	9.8	12.2	0.7	2.4
牛ふん堆肥K区	11.6	14.1	10.2	11.8	2.5	1.6

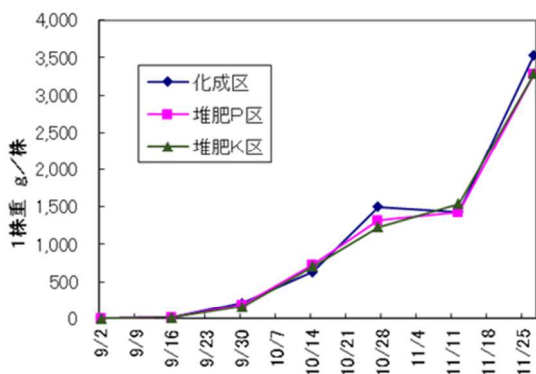
(交換性カリウムの推移)

試験区	2011		2012		2011 増減 b-a	2012 増減 d-c
	栽培前 a	栽培後 b	栽培前 c	栽培後 d		
標準施肥区	40.5	37.0	32.5	33.6	-3.5	1.1
牛ふん堆肥P区	63.5	67.9	44.5	47.5	4.4	3.0
牛ふん堆肥K区	62.0	77.2	46.6	44.2	15.2	-2.4

## 2 キャベツ

### 1) キャベツの収量

キャベツの収量を第8表に示した。2014年の標準施肥区の収量は7.2t、2015年が8tであった。これに対して、牛ふん堆肥P区の収量は2014年が7.8t(標準施肥区の98%、以下同様)、2015年が8.3t(115%)、牛ふん堆肥K区の収量は2014年が7.4t(96%)、2015年が7.7t(103%)と、両年とも標準施肥区に比べ同等か増加した。また、栽培期間中の株重の推移を第1図に示したが、標準施肥区と牛ふん堆肥P区、牛ふん堆肥K区に差はなかった。



第1図 キャベツの株重の推移

### 2) 窒素、リン酸およびカリの吸収量

地上部の窒素、リン酸、カリの養分濃度と吸収量を第9表に示した。結球部および外葉部の窒素、リン酸、カリ濃度は、いずれも標準施肥区と、牛ふん堆肥P区、牛ふん堆肥K区で、差は認められなかった。また、年次間で生育量に差が認められるが、標準施肥区と牛ふん堆肥P区、牛ふん堆肥K区の窒素、リン酸、カリ吸収量に差は認められなかった(第9

表)。

第8表 キャベツの収量

試験区	収量(結球部)		外葉部 t/10a
	t/10a	(収量比)	
標準施肥区	8.0	(100)	4.9
2014年 牛ふん堆肥P区	7.8	(98)	4.9
牛ふん堆肥K区	7.7	(96)	5.0
標準施肥区	7.2	(100)	3.7
2015年 牛ふん堆肥P区	8.3	(115)	4.2
牛ふん堆肥K区	7.4	(103)	3.8

第9表 キャベツの部位別養分濃度(%)と吸収量(kg/10a)

試験区	養分濃度(乾物%)				吸収量(kg/10a)	
	濃度(乾物%)		濃度(乾物%)		吸収量(kg/10a)	
	結球部	外葉部	結球部	外葉部	結球部	外葉部
標準施肥区	2.3	2.6	13.1	11.0		
2014年 牛ふん堆肥P区	2.2	2.4	11.4	9.6		
牛ふん堆肥K区	2.0	2.5	11.0	10.7		
標準施肥区	2.7	3.0	10.8	9.2		
2015年 牛ふん堆肥P区	2.5	3.1	11.5	9.7		
牛ふん堆肥K区	2.8	2.8	11.0	8.0		

(リン酸)

試験区	濃度(乾物%)				吸収量(kg/10a)	
	濃度(乾物%)		濃度(乾物%)		吸収量(kg/10a)	
	結球部	外葉部	結球部	外葉部	結球部	外葉部
標準施肥区	0.6	0.6	3.5	2.4		
2014年 牛ふん堆肥P区	0.5	0.4	2.7	1.7		
牛ふん堆肥K区	0.5	0.5	2.7	2.0		
標準施肥区	0.7	0.5	2.8	1.6		
2015年 牛ふん堆肥P区	0.7	0.5	3.1	1.5		
牛ふん堆肥K区	0.7	0.5	2.7	1.5		

(カリ)

試験区	濃度(乾物%)				吸収量(kg/10a)	
	濃度(乾物%)		濃度(乾物%)		吸収量(kg/10a)	
	結球部	外葉部	結球部	外葉部	結球部	外葉部
標準施肥区	3.6	3.5	20.3	15.2		
2014年 牛ふん堆肥P区	3.5	3.6	18.4	14.5		
牛ふん堆肥K区	3.2	3.3	17.2	14.2		
標準施肥区	3.9	3.7	15.5	11.4		
2015年 牛ふん堆肥P区	3.8	4.1	17.5	12.8		
牛ふん堆肥K区	3.9	4.0	15.5	11.8		

### 3) 土壌養分含有量の推移

無機態窒素含量は、2014年、15年ともに栽培前後で増加する傾向が認められた。特に2015年の牛ふん堆肥P区では、他区に比べて増加量が大きかった。栽培前後の有効態リン酸含量は、3試験区とも2014年でやや増加、15年でやや減少しており、同じ傾向を示した。また、2014年、15年における栽培前後の交換性カリ含量は、標準量のカリを施肥した標準施肥区および牛ふん堆肥K区、カリの施肥量が多い牛ふん堆肥P区ともに減少した(第10表)。

第10表 キャベツ栽培における土壤養分の推移  
(無機態窒素)

試験区	2014		2015		2014 増減 b-a	2015 増減 d-c
	栽培前	栽培後	栽培前	栽培後		
	a	b	c	d		
標準施肥区	0.6	3.3	1.1	2.1	2.7	1.0
牛ふん堆肥 P 区	0.7	3.9	1.1	8.1	3.2	7.0
牛ふん堆肥 K 区	0.5	1.7	0.8	2.7	1.2	1.9

試験区	2014		2015		2014 増減 b-a	2015 増減 d-c
	栽培前	栽培後	栽培前	栽培後		
	a	b	c	d		
標準施肥区	7.0	8.4	6.5	3.1	1.4	-3.4
牛ふん堆肥 P 区	4.6	5.1	4.1	2.1	0.5	-2.0
牛ふん堆肥 K 区	5.3	7.3	5.5	2.3	2.0	-3.2

試験区	2014		2015		2014 増減 b-a	2015 増減 d-c
	栽培前	栽培後	栽培前	栽培後		
	a	b	c	d		
標準施肥区	43.6	36.9	36.3	27.0	-6.7	-9.3
牛ふん堆肥 P 区	46.9	38.9	38.9	34.2	-8.0	-4.7
牛ふん堆肥 K 区	48.1	42.9	39.6	33.1	-5.2	-6.5

**考察**

本試験では、牛ふん堆肥中に含まれるリン酸、カリを肥料として利用し、化学肥料として投入されるリン酸、カリの施肥量を削減するため、2%クエン酸溶液で抽出されるリン酸・カリを化学肥料成分に相当する成分量として施肥設計した。さらにアールスメロン（ビニールハウス）とキャベツ（露地）を栽培し、品質や収量、窒素、リン酸、カリの吸収量を化学肥料のみを施用した標準施肥区と比較した。

アールスメロンでは、リン酸を基準に化学肥料を牛ふん堆肥に代替する牛ふん堆肥 P 区、カリを基準に代替する牛ふん堆肥 K 区ともに対照の標準施肥区と生育、収量・品質、養分吸収量に差は認められなかった。一方、キャベツでは堆肥代替区と標準施肥区の養分吸収量に差がないものの代替区の収量は標準施肥区に比べ同等からやや増加した。このことは、コマツナだけでなく、アールスメロンやキャベツにおける牛ふん堆肥中のク溶性リン酸、カリが化学肥料のリン酸、カリと同等の肥効を持つことを示している。

ただし、栽培前後の土壤養分量の推移は異なる傾向を示した。アールスメロン、キャベツの窒素およびリン酸の推移は標準施肥区、牛ふん堆肥 P 区、牛ふん堆肥 K 区ともに同じ傾向を示した。しかし、2011年に栽培したアールスメロンでは、牛ふん堆肥 K 区における交換性カリ含量の増加量が標準施肥区に比べ大きかった。供試した牛ふん堆肥は、全カリに対するク溶性カリの割合が低く、ク溶性カリ以外のカリが多かった。しかし、カリの吸収量は標準施肥区と差がなく、ク溶性カリ以外のカリは土壤中に残留

したと考えられる。露地栽培では降雨などによってカリが流亡し含有率は低下するが、施設栽培であったため作土層に残留し、収穫後に高い値を示したと推察される。ク溶性カリの活用に関しては問題ないが、カリの過剰な蓄積につながる可能性もあるため、ク溶性カリの割合が高い堆肥の利用を心がけるなどの注意が必要と考えられる。

アールスメロンにおいて2011年に使用した牛ふん堆肥は、全リン酸量が全カリ量より高く、2012年の堆肥は全カリ量より全リン酸量が高かった。また、全リン酸量に対するク溶性リン酸の割合は2011年が92%、2012年が93%と同程度であったが、全カリ量に対するク溶性カリの割合は2011年が52%、2012年が77%と年によって差が見られた。さらに、キャベツで施用した牛ふん堆肥についても全リン酸、カリ量に対するク溶性リン酸、カリの割合は、2014年91%、96%、2015年が91%、97%と年次間で5%程度の差が見られた。これらの結果は、同一のJAから購入したものであっても、製造時期・副資材などさまざまな条件により全リン酸量や全カリ量、あるいはク溶性成分割合が変化することを示している。したがって、堆肥の肥料的効果を適正に評価するためには、牛ふん堆肥ごとにク溶性リン酸・カリを分析し、施肥量を計算する必要がある。

堆肥などの有機物は、地力を維持・増進するための重要な資材である。そのため県をはじめとする各指導機関では、堆肥の施用を励行しており、土壤有機物含有量の低下を防止するため堆肥の施用量の下限値について検討されている<sup>2)</sup>。野菜・黒ボク土・暖地における堆肥施用量の目安は2.5 t/10a（年1作）とされており、熊本県の土づくり指針<sup>10)</sup>でも2 t以上が奨励されている。しかし、今回のように化学肥料を牛ふん堆肥で代替する場合、堆肥の利用量は2 t未満となり、有機物含有量を維持することが困難となる。一方、有機物含量の維持を目的に2 t以上を施用した場合、リン酸、カリの投入量が過剰となり、土壤への養分集積が問題となる。したがって、定期的な土壤診断を行いながら、有機物含量が少ないほ場では、有機物の供給を目的に、今までに堆肥等有機物が連用され十分な有機物含量が確保されたほ場では、化学肥料の代替資材として活用するなど、工夫が必要である。

**謝辞**

本研究は、財団法人全国競馬・畜産振興会「日本中央競馬会畜産振興事業」の助成を受けて実施しました。堆

肥の成分分析等情報を提供くださいました畜産環境整備機構 畜産環境技術研究所に深く御礼申し上げます。

#### 引用文献

- 1) 財団法人畜産環境整備機構(2013): 高肥料成分たい肥調製・利用技術開発普及事業研究成果情報集(平成22~24年度) 11-12
- 2) 西尾道徳(2009): 環境保全型農業レポート No139 家畜ふん堆肥窒素の新しい肥効評価方法 <https://lib.ruralnet.or.jp/nisio/?p=1421>
- 3) 農林水産省(2008): 9家畜ふん堆肥の肥効を加味した施肥設計 [https://www.aff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen\\_tyoe/h\\_sehi\\_kizyun/pdf/siryu9.pdf](https://www.aff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_tyoe/h_sehi_kizyun/pdf/siryu9.pdf)
- 4) 千葉県(2011): 千葉県家畜ふん尿処理利用の手引き, <https://www.pref.chiba.lg.jp/chikusan/taihiriyousanshutsuhou.html>
- 5) 農林水産省(2008): 「土壌管理のあり方に関する意見交換会」報告書 [https://www.aff.go.jp/j/study/dozyo\\_kanri/pdf/report.pdf](https://www.aff.go.jp/j/study/dozyo_kanri/pdf/report.pdf)
- 6) 財団法人畜産環境整備機構(2014): 畜産環境情報第50号 21-28
- 7) 熊本県農政部・(社)熊本県野菜振興協会(2002): 熊本の野菜, 436pp
- 8) 財団法人日本土壌協会(2010): 堆肥等有機物分析法, 212pp
- 9) 財団法人日本土壌協会(2001): 土壌モニタリング調査のための土壌、水質及び植物体分析法, 321pp
- 10) 熊本県(2001): 堆きゅう肥利用の手引き, 経営技術課

#### Summary

### Chemical Fertilizer Substitution Effect of Phosphate and Potassium Oxide of Barnyard Manure Soluble in 2% Citric Acid on Cultivation of Melon and Cabbage

Nami MIMAKI, Yumiko SHIRAIISHI

Few effective use of barnyard in horticulture, chemical fertilizer was substituted with barnyard manure whose contents of soluble phosphate and potassium oxide were measured with 2% citric acid solution. The yield and quality of fruit and the nutrient uptake in the melon and cabbage with barnyard manure were equivalent level of those with chemical fertilizer. The results showed that the soluble phosphate and potassium oxide in 2% citric acid can be a good reference to decide the amount of barnyard manure and, if necessary, the amount of compensatory chemical fertilizer to apply.